

三角梅对盐胁迫的响应研究

王 振¹, 丁印龙², 董怡然², 杨盛昌¹

(1.厦门大学 环境与生态学院, 福建 厦门 361005; 2.厦门市园林植物园, 福建 厦门 361003)

摘 要: 长期盐胁迫处理实验表明, 随着 NaCl 浓度增加, 不同三角梅品种的地上部和地下部生物量均呈下降趋势。与对照相比, 盐浓度为 5% 时, 勤花三角梅生物量下降幅度最小, 为 27.94%; 樱花三角梅下降最大, 为 67.03%。当盐浓度为 4% 时, 樱花三角梅、白芭三角梅和勤花三角梅的光量子产量分别为 0.36、0.30 和 0.36, 分别为对照的 78.23%、79.64% 和 74.82%; 金心鸳鸯三角梅的光量子产量为 0.05, 仅为对照的 15.53%。白芭三角梅的光化学猝灭系数 qP 值随着盐浓度的升高无明显变化; 金心鸳鸯三角梅、勤花三角梅和樱花三角梅的 qP 值随着盐浓度的升高而降低。4 个三角梅品种的抗盐胁迫能力为: 白芭三角梅>樱花三角梅>勤花三角梅>金心鸳鸯三角梅。

关键词: 三角梅; 盐胁迫; 叶绿素荧光; 生长

Doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2015.02.001

中图分类号: Q945.7

文献标识码: A

文章编号: 1009-7791(2015)02-0091-05

Responses of *Bougainvillea* to Salt Stress

WANG Zhen¹, DING Yin-long², DONG Yi-ran², YANG Sheng-chang¹

(1.College of Environmental Sciences and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian China; 2.Xiamen Botanical Garden, Xiamen 361003, Fujian China)

Abstract: The long-term NaCl salt stress experiments showed that with the increasing of NaCl concentration, shoot and root biomass of different *Bougainvillea* cultivars were decreased. At 5% NaCl concentration, biomass of 'Miss Manila' had the least decline of 27.94%; however, 'Imperial Delight' had the largest decline of 67.03%, compared with the control. When the NaCl concentration was 4%, the quantum yield of 'Imperial Delight', 'Shubhra' and 'Miss Manila' were 0.36, 0.30 and 0.36, with 78.23%, 79.64% and 74.82% of the control, respectively; the quantum yield of 'Thimma' was 0.05, only 15.53% of the control. With the increasing of NaCl concentration, photochemical quenching coefficient qP of 'Shubhra' had no obvious change; but qP value of 'Thimma', 'Miss Manila' and 'Imperial Delight' decreased significantly. The resistance ability to NaCl salt stress of four *Bougainvillea* cultivars was 'Shubhra' > 'Imperial Delight' > 'Miss Manila' > 'Thimma'.

Key words: *Bougainvillea*; salt stress; chlorophyll fluorescence; growth

植物的生长离不开必需的无机盐, 但盐浓度过高却会危害植物的正常生长。土壤盐分过多使土壤水势下降, 从而对植物产生渗透胁迫。当过多的盐离子进入细胞后, 细胞内 Na^+ 增多, 改变了细胞内 K^+/Na^+ 比, 产生离子胁迫。Levitt^[1]认为盐胁迫还会造成植物营养缺乏, 产生营养胁迫。当土壤中盐离子浓度过高时, 进入植物体内的 Na^+ 会阻止植物对 K^+ 、 Ca^{2+} 等一些矿质营养元素的吸收, 造成某些营养元素的缺乏, 从而干扰植物的新陈代谢, 使植物生长受到抑制^[2]。盐胁迫条件下, 植物会通过积累渗透调节物质或诱导胁迫基因的表达来提高抗盐性^[3]。

收稿日期: 2015-02-28

基金项目: 厦门市科学技术局项目(3502Z20124013)

作者简介: 王振, 硕士研究生, 从事植物生理生态学研究。E-mail: 1050110565@qq.com

注: 杨盛昌为通讯作者。E-mail: scyang@xmu.edu.cn

三角梅属 *Bougainvillea* 隶属于紫茉莉科 *Nyctaginaceae*, 全世界约有 14~18 种, 自然分布于南美洲的巴西、秘鲁、厄瓜多尔、阿根廷、哥伦比亚等地区^[4]。全世界具有较高园艺价值的三角梅观赏品种超过 300 个, 分属于 3 个自然种以及 1 个杂交种。自然种为三角梅 *B. spectabilia*、光叶三角梅 *B. glabra* 以及秘鲁三角梅 *B. peruviana*, 杂交种为杂交三角梅 *B. buttiana*, 前 2 个种较为常见, 杂交品种花色较多^[5-6]。

目前有关盐胁迫对三角梅影响的研究较为缺乏, 其中施建羽^[7]开展了盐胁迫对三角梅光合特性影响的研究。本文从生长和生理生化水平研究三角梅对盐胁迫的响应, 为其扩大栽培应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

所有实验材料均为三角梅扦插苗, 苗龄 1 年, 定植于底部有排水孔的塑料盆内, 每盆定植 1 株苗。培养基质为人工配制的培养土, 含 15% 腐殖土。4 个三角梅品种为樱花三角梅 *B. glabra* ‘Imperial Delight’、金心鸳鸯三角梅 *B. peruviana* ‘Thimma’、勤花三角梅 *B. buttiana* ‘Miss Manila’、白苞三角梅 *B. peruviana* ‘Shubhra’, 选取生长状况较一致者, 于隔离温室大棚中培养, 每隔一天浇一次水。4 周后开始盐胁迫处理。

1.2 方法

实验设 0、1%、2%、3%、4% 和 5% 等 6 个 NaCl 浓度梯度(未考虑培养基质的本底盐浓度), 每处理 3 次重复, 随机排列。盐胁迫前控水 3 d, 以利于盐水在干燥培养土中迅速扩散。每 3 d 施用相应等量盐溶液一次, 以浇透盆土为准, 保持各处理的土壤盐浓度, 平时视盆土干湿情况补浇清水(日常管理)。盐处理时间为 2014 年 5 月 24 日至 2014 年 7 月 7 日, 历时 45 d。盐胁迫处理结束后, 观察幼苗生长情况, 确定盐害等级, 测定地上部和地下部的生物量, 以及叶片 SOD 酶活性、POD 酶活性、叶绿素荧光参数。

盐害等级程度分为 4 个级别, 分别为 0 级: 无明显盐害症状; I 级: 轻度盐害, 少数叶片尖缘枯焦或黄化; II 级: 中度盐害, 一半左右叶片尖缘枯焦、黄化或少量叶片脱落, 或失水萎蔫; III 级: 重度盐害, 多数叶片脱落, 枝条枯死, 直至植株死亡。

叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性测定参见赵福庚等^[2]的方法, 叶片的叶绿素荧光参数测定采用 WALZ 公司 PAM-2100 叶绿素荧光仪进行。

2 结果与分析

2.1 盐害等级

经盐胁迫处理后, 4 个三角梅品种的盐害等级情况见表 1。随着盐处理浓度的增加, 除白苞三角梅外, 其他三角梅品种的盐害等级呈上升变化。当盐浓度为 1% 时, 4 个三角梅品种均受到轻度的盐害; 当盐浓度为 2%, 勤花三角梅和金心鸳鸯三角梅受害加重, 盐害等级为 II 级; 当盐浓度为 3% 和 4%, 樱花三角梅盐害等级升为 II 级, 而勤花三角梅和金心鸳鸯三角梅的盐害等级已达 III 级, 白苞三角梅仅受到轻度盐害; 当盐浓度为 5%, 樱花三角梅、勤花三角梅和金心鸳鸯三角梅的盐害等级均为 III 级。据此, 4 品种三角梅的耐盐能力强弱依次为白苞三角梅>樱花三角梅>勤花三角梅≈金心鸳鸯三角梅。

表 1 不同品种三角梅的盐害等级

Table 1 The grade of salt damage in different cultivars of *Bougainvillea*

盐浓度/%	盐害等级			
	樱花三角梅	勤花三角梅	金心鸳鸯三角梅	白苞三角梅
0(CK)	0	0	0	0
1	I	I	I	I
2	I	II	II	I
3	II	III	III	I
4	II	III	III	I
5	III	III	III	I

注: 盐处理第 4 d 开始出现盐害症状。

2.2 盐胁迫对生物量的影响

由表 2 可以看出,随着盐浓度的增加,不同三角梅品种的地上部和地下部鲜重、干重及生物量均呈下降趋势,说明盐胁迫抑制了三角梅的生长。与对照相比,盐浓度为 5%,勤花三角梅生物量下降的幅度最小,为 27.94%,受抑制程度最轻;其次是金心鸳鸯三角梅和白苞三角梅,分别下降 40.53%和 62.12%;樱花三角梅受抑制程度最重,较对照下降 67.03%。樱花三角梅、勤花三角梅、金心鸳鸯三角梅和白苞三角梅地下部分干重分别下降 66.75%、23.37%、53.15%和 63.50%,地上部分干重分别下降 67.13%、29.60%、33.60%和 61.24%,说明盐胁迫对金心鸳鸯地下部分影响较大;对樱花三角梅和白苞三角梅地上部分和地下部分皆有较大影响,但地上地下影响差别不明显;对勤花三角梅地上部分影响大于地下。

表 2 盐胁迫对 4 品种三角梅生长的影响
Table 2 The effects of salt stress on 4 cultivars of *Bougainvillea*

品种	盐浓度/%	地上部分鲜重/g	地下部分鲜重/g	地上部分干重/g	地下部分干重/g	生物量/g
樱花三角梅	0(CK)	14.33 ± 2.04 a	6.70 ± 2.42 a	10.68 ± 4.13 a	3.97 ± 1.78 a	14.65 ± 4.00 a
	1	13.34 ± 2.71 a	6.59 ± 1.41 a	9.64 ± 0.33 a	3.90 ± 0.42 a	13.54 ± 0.54 a
	2	11.49 ± 1.93 ab	5.60 ± 1.55 ab	8.15 ± 1.11 ab	3.08 ± 1.13 ab	11.23 ± 0.29 ab
	3	10.74 ± 4.23 ab	4.46 ± 0.90 b	7.41 ± 3.22 b	2.36 ± 0.76 ab	9.77 ± 3.98 b
	4	10.29 ± 1.41 b	4.10 ± 1.52 b	6.30 ± 2.37 bc	2.08 ± 0.41 b	8.38 ± 2.04 b
勤花三角梅	5	5.45 ± 1.15 c	3.22 ± 0.24 b	3.51 ± 0.13 c	1.32 ± 0.12 c	4.83 ± 0.13 c
	0(CK)	39.76 ± 0.61 a	13.11 ± 3.71 a	18.65 ± 1.08 a	6.76 ± 3.14 a	25.41 ± 2.86 a
	1	39.35 ± 5.83 a	13.66 ± 6.69 a	18.35 ± 1.34 a	6.45 ± 1.29 a	24.79 ± 2.60 a
	2	39.22 ± 1.73 a	13.11 ± 2.60 a	18.19 ± 2.27 a	6.40 ± 1.97 a	24.59 ± 4.22 a
	3	34.86 ± 5.96 ab	11.69 ± 4.95 ab	16.16 ± 4.91 ab	5.55 ± 0.77 ab	21.71 ± 5.40 ab
金心鸳鸯三角梅	4	32.24 ± 7.19 ab	11.40 ± 0.46 b	15.43 ± 2.47 ab	5.36 ± 1.06 ab	20.79 ± 1.41 ab
	5	28.11 ± 5.32 b	11.01 ± 1.65 b	13.13 ± 3.97 b	5.18 ± 0.41 b	18.31 ± 3.62 b
	0(CK)	36.92 ± 5.55 a	20.39 ± 0.65 a	18.63 ± 3.78 a	10.16 ± 2.40 a	28.79 ± 3.95 a
	1	35.45 ± 0.57 a	19.64 ± 3.73 a	18.10 ± 3.80 a	9.63 ± 3.65 ab	27.73 ± 6.88 a
	2	31.28 ± 5.66 ab	16.76 ± 4.05 ab	17.95 ± 3.35 a	8.29 ± 0.57 ab	26.24 ± 3.90 ab
白苞三角梅	3	31.26 ± 6.36 ab	15.73 ± 6.45 ab	15.80 ± 4.08 b	7.95 ± 1.65 b	23.75 ± 2.56 b
	4	23.94 ± 8.86 b	15.60 ± 0.41 ab	12.76 ± 5.46 bc	7.47 ± 2.26 b	20.23 ± 3.87 bc
	5	20.89 ± 7.34 b	10.43 ± 3.21 b	12.37 ± 2.99 c	4.76 ± 1.14 c	17.12 ± 3.67 c
	0(CK)	24.26 ± 7.57 a	10.54 ± 4.48 a	8.23 ± 1.26 a	5.26 ± 1.27 a	13.49 ± 2.31 a
	1	18.61 ± 3.92 a	7.44 ± 1.92 b	5.88 ± 2.08 b	3.64 ± 0.82 b	9.51 ± 1.84 ab
	2	17.28 ± 0.33 ab	6.20 ± 1.11 ab	5.56 ± 0.41 b	3.20 ± 0.70 b	8.76 ± 0.75 ab
	3	14.99 ± 3.28 b	5.02 ± 2.07 ab	5.06 ± 0.78 b	2.34 ± 0.84 bc	7.40 ± 0.74 b
	4	12.51 ± 0.42 b	4.38 ± 1.77 ab	4.57 ± 0.72 b	2.24 ± 0.49 bc	6.81 ± 0.41 bc
	5	7.49 ± 0.42 c	2.59 ± 0.57 b	3.19 ± 0.55 c	1.92 ± 0.41 c	5.11 ± 0.49 c

注:数值用 Mean ± SD 表示,同列数值后不同字母表示差异性显著($P < 0.05$),表 3 同。

2.3 盐胁迫对叶片抗氧化酶活性的影响

植物在受到盐胁迫时,体内氧自由基增多,消除氧自由基的抗氧化酶活性也随之变化。SOD 和 POD 是清除氧自由基的两种酶。盐胁迫下,不同植物的 SOD 和 POD 活性变化不同。不同品种三角梅叶片的 SOD 酶活如图 1 所示,可以看出三角梅不同品种的 SOD 酶活性随着盐浓度的增加发生变化的程度不同,白苞三角梅的 SOD 酶活性随着盐浓度的增加没有显著的变化;樱花三角梅的 SOD 酶活性变化规律性不明显;勤花三角梅和金心鸳鸯三角梅的 SOD 酶活性随着盐浓度的增加先升高后下降,在盐浓度为 1% 时达到最大值,与对照差异显著($P < 0.05$),随着盐浓度的进一步升高, SOD 酶活性开始降低,严重的盐胁迫使勤花三角梅和金心鸳鸯三角梅的受迫害程度加剧。

金心鸳鸯三角梅和勤花三角梅的 POD 酶活性随着盐浓度增加大致呈降低趋势,当盐浓度为 5% 时,其活性分别为对照的 22.71%、47.63%,且差异显著($P < 0.05$)。而白苞三角梅和樱花三角梅的 POD 酶活性随着盐浓度的增加先升高后降低,分别在盐浓度为 1%、2% 时达到最大值,分别为对照的 1.72 和 14.51 倍;当盐浓度超过 2%,白苞三角梅和樱花三角梅的 POD 酶活性随着盐浓度的升高而降低(图 1)。

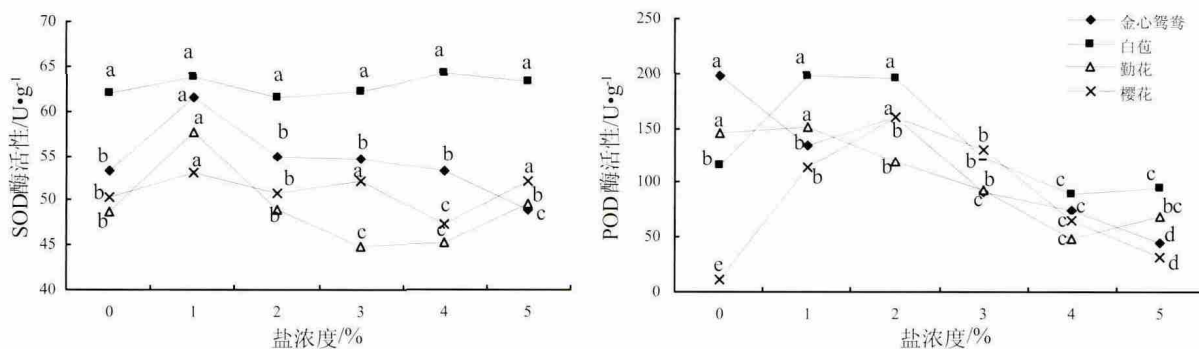


图 1 盐胁迫下三角梅叶片抗氧化酶活性的变化

Fig. 1 The changes of antioxidant enzyme activities of 4 cultivars of *Bougainvillea* under salt stress注: 不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 图 2 同。

2.4 盐胁迫对叶片叶绿素荧光参数的影响

光系统 II (PS II) 最大光化学效率 F_v/F_m 的大小反映了 PS II 反应中心内原初光能的转换效率, 在非胁迫条件下, 该参数的变化极小; 在胁迫条件下, 该参数明显下降。因此, F_v/F_m 是反映植物生长健康状况的一个有效指标^[8]。4 品种三角梅叶片的 F_v/F_m 值随盐浓度的变化如图 2 所示, 由于盐浓度为 5% 时采到的是 4 品种三角梅残留的叶片, 其数据不作为参考值进行分析。樱花三角梅和白苞三角梅的 F_v/F_m 值随着盐浓度的升高没有明显变化; 而勤花三角梅和金心鸳鸯三角梅的 F_v/F_m 值随着盐浓度的升高而降低, 当盐浓度为 4%, F_v/F_m 值达到最低值, 分别是 0.58、0.54, 为对照组的 68.17%、70.34%, 差异性显著 ($P < 0.05$)。

盐胁迫引起植物缺水, 影响植物叶片的光合作用, 其光化学量子产量表现出逐渐降低的趋势。4 品种三角梅的叶片光化学量子产量降低的程度不同(图 2)。当盐浓度为 4%, 樱花三角梅、白苞三角梅和勤花三角梅的光化学量子产量分别为 0.36、0.30、0.36, 分别为对照的 78.23%、79.64%、74.82%, 差异性显著 ($P < 0.05$); 金心鸳鸯三角梅的光化学量子产量为 0.05, 仅为对照的 15.53%, 差异性显著 ($P < 0.05$)。

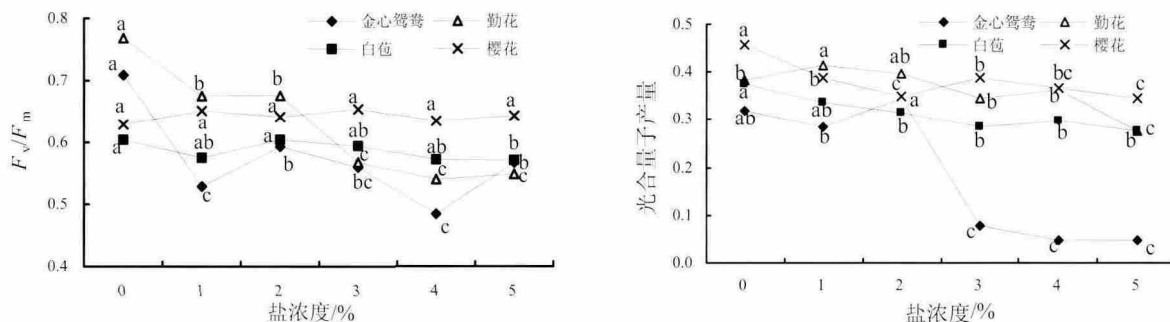


图 2 盐胁迫下三角梅叶绿素荧光参数的变化

Fig. 2 The changes of chlorophyll fluorescence parameters of 4 cultivars of *Bougainvillea* under salt stress

光化学猝灭系数 qP 反映了 PS II 反应中心吸收光能用于光化学电子传递的份额^[9]。热耗散可以防御光抑制带来的破坏, 是植物保护 PS II 免受伤害的重要机制。盐胁迫对 4 品种三角梅叶片 qP 值的影响如表 3 所示。白苞三角梅和樱花三角梅的 qP 值随着盐浓度的升高没有明显的变化, 差异不显著; 金心鸳鸯

表 3 盐胁迫对三角梅 qP 值的影响

盐浓度/%	金心鸳鸯三角梅	勤花三角梅	白苞三角梅	樱花三角梅
0(CK)	0.49 ± 0.07 a	0.62 ± 0.01 a	0.55 ± 0.06 a	0.72 ± 0.09 a
1	0.54 ± 0.06 a	0.54 ± 0.05 ab	0.54 ± 0.05 a	0.60 ± 0.04 ab
2	0.50 ± 0.18 a	0.59 ± 0.06 a	0.51 ± 0.09 a	0.59 ± 0.09 ab
3	0.14 ± 0.03 b	0.53 ± 0.05 ab	0.51 ± 0.04 a	0.70 ± 0.13 a
4	0.16 ± 0.03 b	0.53 ± 0.07 ab	0.51 ± 0.04 a	0.51 ± 0.14 b
5	0.16 ± 0.05 b	0.45 ± 0.10 b	0.50 ± 0.06 a	0.59 ± 0.10 ab

三角梅、勤花三角梅的 qP 值随着盐浓度的升高而降低,当盐浓度为5%时,分别为对照的32.63%、72.55%,差异性显著($P<0.05$)。

3 讨论

活性氧是植物正常代谢的产物,在正常生长条件下,活性氧的形成和清除保持一种动态平衡,逆境胁迫如气体污染、盐渍和病害等可诱导活性氧自由基的产生和积累,破坏这种平衡。SOD和POD是植物体内酶促防御系统的保护酶^[10-11],4个三角梅品种的SOD酶活性随着盐浓度的增加作出不同的响应,白苞三角梅和樱花三角梅的SOD酶活性随着盐浓度的增加无显著变化;勤花三角梅和金心鸳鸯三角梅的SOD酶活性随着盐浓度的增加先升高后下降,在盐浓度为1%时达到最大值,当盐浓度大于2%时,SOD酶活性开始降低,说明盐胁迫对勤花三角梅和金心鸳鸯三角梅的胁迫程度加剧。白苞三角梅、樱花三角梅、金心鸳鸯三角梅和勤花三角梅叶片的POD酶活性在盐浓度大于2%时均随着盐浓度的升高而降低。因此,SOD和POD酶活因三角梅品种不同而呈现对盐胁迫的不同响应。

叶绿素荧光参数中叶绿素荧光的可变部分(F_v)与最大荧光值(F_m)的比值(F_v/F_m)反映了开放的PS II反应中心捕获激发能的效率,是研究植物胁迫的重要参数,任何影响PS II效能的环境胁迫均会使 F_v/F_m 降低^[7]。研究表明, F_v/F_m 与光合作用的净产率呈正相关^[12]。光化学效率的高低直接决定叶片光合作用的高低,因此,由于逆境因素造成的光化学效率降低会成为光合作用的重要限制因子^[7]。通过盐胁迫处理实验,对三角梅生长、抗氧化酶活性和叶绿素荧光参数进行研究,结果显示,4品种三角梅的抗盐胁迫的能力依次为白苞三角梅>樱花三角梅>勤花三角梅>金心鸳鸯三角梅。

参考文献:

- [1] Levitt J. Responses of plants to environmental stresses. Vol. II: Water, Radiation, Salt, and other Stresses[M]. New York: Academic Press, 1980.
- [2] 赵福庚,何龙飞,罗庆云. 植物逆境生理学[M]. 北京: 化学工业出版社. 2004: 143—153.
- [3] 王宝山,邹琦,赵可夫. NaCl胁迫对高粱不同器官离子含量的影响[J]. 作物学报, 2000,26(6): 845—850.
- [4] 徐凤侠,王亮生,舒庆艳,苏明华,黄青云,张文惠,刘公社. 三角梅属植物的生物学研究进展[J]. 植物学通报, 2008,25(4): 483—490.
- [5] 周群. 中国叶子花属植物种质资源及其繁殖技术研究[J]. 中国农学通报, 2008,24(12): 321—324.
- [6] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第二十六卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 5—7.
- [7] 施建羽. 盐胁迫对三角梅光合特性的影响[J]. 福建热作科技. 2012,37(1): 5—8.
- [8] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The Basics[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991,42: 313—349.
- [9] 汪月霞,孙国荣,王建波,曹文钟,梁建生,余政哲,陆兆华. NaCl胁迫下星星草幼苗MDA含量与膜透性及叶绿素荧光参数之间的关系[J]. 生态学报, 2006,26(1): 122—129.
- [10] 崔兴国. 盐胁迫对圆叶牵牛光合特性的影响[J]. 中国园艺文摘, 2011,27(9): 30—31.
- [11] 邢庆振,郁松林,牛雅萍,于坤,宋曼曼. 盐胁迫对葡萄幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011,29(3): 96—100.
- [12] Bilger W, Bjerkman O. Role of the xanthophylls cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*[J]. Photosynthesis Research, 1990,25(3): 173—185.